



Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2025**  
10º Congresso Latino-americano da Construção Metálica  
09 de setembro de 2025, São Paulo - SP, Brasil

Tema: Construções leves estruturadas em aço: projeto; dimensionamento; fabricação; e montagem

### **ANÁLISE EXPERIMENTAL DE VIGAS MISTAS DE LAJES SECAS DO SISTEMA *LIGHT STEEL FRAMING***

Alexandre Kokke Santiago<sup>1</sup>  
Francisco Carlos Rodrigues<sup>2</sup>  
Rodrigo Barreto Caldas<sup>3</sup>  
Richard Brito Braga<sup>4</sup>

#### **Resumo**

O emprego de estruturas mistas de aço e concreto é prática difundida pelas vantagens de economia e eficiência desta associação. O *Light Steel Framing* (LSF) emprega perfis metálicos leves, com espaçamento definido entre peças que, ligadas entre si, formam, em conjunto, um esqueleto estrutural capaz de resistir às forças solicitantes. A estrutura das lajes secas de LSF é formada por um reticulado de perfis, dispostos na horizontal, sobre o qual é instalado um substrato em placas (geralmente OSB ou *plywood*), para criar o plano horizontal da laje. Normas existentes não consideram a contribuição das placas de substrato na resistência e rigidez da estrutura frente à flexão. Estudos recentes demonstram que estruturas em LSF associadas a um substrato em placas possuem comportamento análogo a vigas mistas, com contribuição das placas de madeira na resistência e na rigidez da estrutura. O presente artigo apresenta estudo experimental conduzido pelos autores, em que modelos de lajes secas com *plywood* foram submetidos a ensaios de flexão que demonstram ganhos de cerca de 60% na resistência e 20% na rigidez resultantes da associação entre os materiais que compõem a estrutura da laje de LSF. Estes resultados contribuem com dados relevantes para se obter ganhos em economia e desempenho de edificações em LSF.

**Palavras-chave:** *Light Steel Framing*; Construção Metálica; Vigas Mistas; Laje Seca; *Plywood*

### **EXPERIMENTAL ANALYSIS OF COMPOSITE BEAMS USED IN LIGHT GAUGE STEEL FLOORING SYSTEM**

#### **Abstract**

The use of composite steel and concrete structures is a widespread practice due to the advantages of economy and efficiency of this combination. Light Gauge Steel (LGS) construction solutions use lightweight metal profiles, with defined spacing between pieces that, when connected, form a structural skeleton capable of withstanding the forces applied to them. The structure of LGS flooring system is formed by a grid of profiles, arranged horizontally, on which a board substrate (usually OSB or *plywood*) is installed to create the horizontal plane of the floor. Existing construction codes do not consider the contribution of the floorboard to the strength and stiffness of the structure. Recent studies have shown that LGS structures associated with floorboards behave similarly to composite beams, with relevant contribution

of the wooden boards to the strength and stiffness of the structure. This article presents an experimental study, conducted by the authors, in which models of flooring system with plywood were subjected to bending tests that demonstrate the gains around 60% in strength and 20% in stiffness resulting from the combination of the materials that are used at the structure LGS flooring system. These results present relevant data to obtain gains regarding cost and performance of LGS construction.

**Keywords:** Light Steel Framing; Steel Construction; Composite Beams; Flooring Systems; Plywood

<sup>1</sup> Arquiteto e Urbanista (UFMG); Mestre em Engenharia Civil (UFOP); Doutorando em Engenharia de Estruturas (UFMG); Professor da PUC-Minas; Sócio do escritório Estúdio Nexus: Arquitetura e Aço; Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Professor Doutor, Professor Titular do Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da UFMG; Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>3</sup> Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da UFMG; Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>4</sup> Arquiteto e Urbanista (UNIBH) especializado em LSF, Sócio do escritório Estúdio Nexus: Arquitetura e Aço; Belo Horizonte, MG, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O emprego de estruturas mistas de aço e concreto é prática bastante difundida, tanto no Brasil quanto no exterior. O excelente desempenho do aço, quando submetido à tração, e do concreto, quando à compressão, favorece o desenvolvimento dos sistemas mistos como forma de combinar o potencial de cada um dos materiais, a fim de tornar a estrutura mais eficiente e econômica.

A norma brasileira ABNT NBR 8800:2008 [1] apresenta, desde sua edição de 1986, procedimentos para o dimensionamento de estruturas mistas de aço e concreto com emprego de perfis laminados, soldados e tubulares, criando pilares mistos, vigas mistas e ligações mistas e considerando a contribuição do concreto na resistência aos esforços de compressão presentes na estrutura. A ABNT NBR 14762:2010 [2], norma para dimensionamento de estruturas com perfis formados a frio (PFF), também faz referência aos procedimentos apresentados na ABNT NBR 8800:2008 [1], aplicados aos perfis desse grupo, quando se pretende utilizar sistemas mistos de aço e concreto.

O *Light Steel Framing* (LSF) é um sistema construtivo em aço que se caracteriza por uma estrutura constituída por perfis leves em aço galvanizado, formados a frio, com espaçamento definido entre as peças que, ligadas entre si, formam, em conjunto, um esqueleto estrutural leve capaz de resistir às forças que solicitam a edificação. O sistema é composto, ainda, por diversas placas de fechamento para paredes e lajes (SANTIAGO et al. 2012 [3]).

A estrutura das lajes do sistema LSF, especificamente, é formada por um reticulado de perfis Ue (U enrijecido), dispostos na horizontal, em espaçamento padronizado, que segue modulação prevista para toda a edificação. Tal reticulado metálico é sobreposto por um substrato, com objetivo de criar o plano horizontal da laje, permitindo o emprego do espaço pelos usuários da edificação. A solução mais comum para o substrato da laje em LSF é a aplicação de placas, como o OSB (*Oriented Strand Board*), compensado estrutural (*plywood*), cimentícias ou compósitas, parafusadas aos perfis metálicos, configurando um substrato seco, industrializado e de rápida execução. Entende-se que é possível pensar em uma solução de lajes, constituída de perfis formados a frio e substrato seco, em que ocorra comportamento análogo ao das vigas mistas, para ser empregado no sistema *Light Steel Framing*.

Segundo RODRIGUES e CALDAS (2016) [4], os perfis das lajes de LSF devem ser dimensionados ao momento fletor, à força cortante e à combinação entre estes, tendo como base os procedimentos apresentados na ABNT NBR 14762:2010 [2]. Essa norma não prevê procedimentos para o dimensionamento das vigas de piso da laje como um sistema misto, em que levar-se-ia em conta a contribuição das placas secas de substrato da laje na resistência aos esforços devidos ao momento fletor e na diminuição dos valores de flechas, somente lajes em concreto armado.

Estudos, como os de KYVELOU (2017) [5], KYVELOU et al. (2015 [6], 2017a [7], 2017b [8], 2018 [9], 2019 [10]), ZHOU et al. (2014 [11], 2019 [12]) e LEITE (2020) [13] demonstram que há ganho de rigidez (redução das flechas encontradas) e resistência (aumento do momento máximo suportado) para os perfis da laje de LSF, ao se considerar a contribuição do substrato, formando, efetivamente, um sistema de vigas mistas.

Os estudos citados analisaram, tanto de forma experimental quanto por meio de Método de Elementos Finitos (MEF), o comportamento das vigas mistas compostas por perfis formados a frio e placas de substrato, alterando parâmetros como espessura do aço, espessura da placa de substrato e densidade do parafusamento.

Os substratos empregados nos estudos existentes foram o OSB, empregado por KYVELOU (2017) [5], KYVELOU et al. (2015 [6], 2017a [7], 2017b [8], 2018 [9], 2019 [10]) e ZHOU et al. (2014 [11], 2019 [12]). Já LEITE (2020) [13] estudou as vigas mistas para lajes em LSF com emprego de placa compósita (OSB e cimentícia). Não há estudos disponíveis que avaliam o emprego de substratos em *plywood* (compensado estrutural) como contribuinte da estrutura compondo sistema de viga mista nas lajes de *Light Steel Framing*.

O presente estudo apresenta os resultados de programa experimental, em que modelos de lajes secas com *plywood* foram submetidos ensaios de flexão. Os resultados demonstram os ganhos possíveis de resistência e rigidez resultantes da associação entre as vigas metálicas em perfis formados a frio e substrato *plywood* que compõem a estrutura da laje de LSF.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Sistema *Light Steel Framing* e sua solução de laje

O *Light Steel Framing* é um sistema construtivo, tipicamente autoportante, composto por vários elementos industrializados que possibilitam uma construção com rapidez de execução e precisão. Tal sistema se caracteriza por um esqueleto estrutural, composto por perfis leves de aço galvanizado formados a frio, que tem a função de absorver as solicitações impostas à edificação e, em conjunto com os outros elementos estruturais, distribuir uniformemente as cargas para as fundações (Figura 1).



Figura 1 - Esqueleto estrutural de edificação em LSF

Não se resumindo apenas à estrutura, o sistema LSF é formado por diversos componentes e subsistemas inter-relacionados, que possibilitam uma construção industrializada eficiente. Esse sistema construtivo é composto, além do sistema estrutural, por aqueles subsistemas de fundação, de isolamento termoacústico, de fechamento interno e externo, vertical e horizontal, e de instalações elétricas e hidráulicas (Santiago et al. 2012 [3]).

A montagem da estrutura de LSF emprega perfis na composição de painéis estruturais de paredes, vigas de piso, treliças, tesouras de telhado, entre outros componentes. Tais perfis possuem, tipicamente, seções transversais “U enrijecido” (Ue) e “U simples” (U) em aço galvanizado estrutural do tipo ZAR (zincado de alta resistência). Segundo Santiago et. al. 2012 [3], as seções mais usuais dos perfis Ue são 90x40x12 mm, 140x40x12 mm e 200x40x12 mm, e dos perfis U são 90x40 mm, 140x40 mm e 200x40 mm, ambas com espessuras de chapa de 0,80 mm, 0,95 mm e 1,25 mm. Tais perfis atendem às normas brasileiras ABNT NBR 6355:2012 [14] e ABNT NBR 15253:2014 [15]. Os painéis estruturais são compostos por vários perfis parafusados e espaçados regularmente entre si, de acordo com a modulação definida no cálculo estrutural, variando entre 400 mm e 600 mm.

Outros componentes, não estruturais, como os fechamentos verticais e horizontais, geralmente em placas parafusadas à estrutura, são elementos leves e compatíveis com o conceito do sistema, formando um conjunto eficiente e de baixo peso próprio (Figura 2). Os sistemas mais utilizados como revestimento para o LSF, no mercado nacional, são: a placa de OSB (combinada a argamassa armada, EIFS ou *siding*), a placa cimentícia e o gesso acartonado, complementados com barreiras de vapor e mantas de isolamento (Santiago et al. 2012 [3]).



Figura 2 - Execução de fechamentos externos de LSF em edificação

As lajes do sistema LSF possuem o mesmo princípio estrutural dos seus painéis, ou seja, são constituídas por perfis de aço galvanizado com espaçamento, seguindo modulação definida em função das cargas a serem aplicadas.

As vigas de piso são responsáveis por transmitir, aos painéis das paredes estruturais, as cargas a que a laje está sujeita, servindo, também, como apoio para o substrato. Essas vigas são perfis de seção Ue, dispostos na horizontal, com dimensões de mesa similares àquelas dos montantes dos painéis, e altura determinada em cálculo, de acordo com as cargas e o vão desejados. Também fazem parte do sistema estrutural da laje de LSF as guias de arremate ou sanefas, que são perfis U instalados nas extremidades das vigas de piso, para dar forma à estrutura (Figura 3). Já os enrijecedores de alma são recortes de perfis Ue, da mesma seção dos painéis de paredes, dispostos na vertical e fixados através de suas almas às almas das vigas nos pontos onde a laje se apoia, evitando o esmagamento da alma dos perfis da laje em função dos esforços concentrados nesta região (SANTIAGO et al., 2012 [3]).

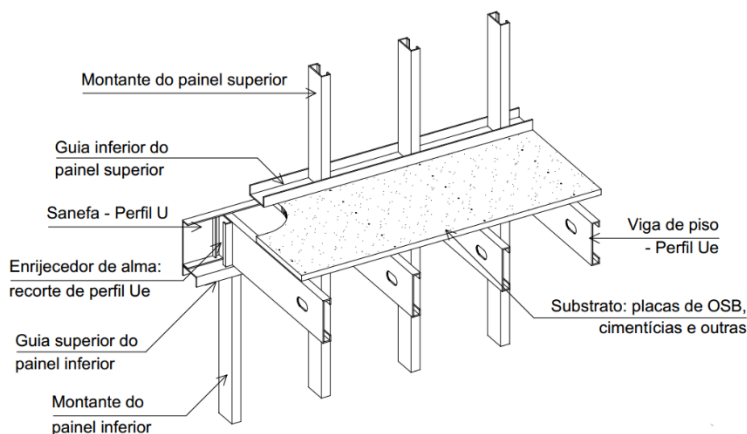


Figura 3 - Estrutura típica de laje de LSF com substrato seco  
(Fonte: Santiago et. al., 2012 [3])

Para evitar a flambagem lateral com torção, as vigas de piso devem ser travadas lateralmente. Este travamento pode ser feito por meio de bloqueadores em perfis U e fitas de aço galvanizado instaladas na face inferior dos painéis e ligadas aos bloqueadores por parafusos, similar à solução de painéis de parede (Figura 4). Na face superior, a placa de substrato é responsável pela contenção lateral dos perfis.

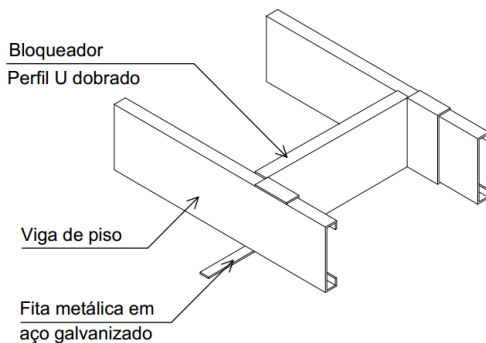


Figura 4 - Bloqueadores em perfis U e fitas em vigas de piso  
(Fonte: Santiago et al., 2012 [3])

O conjunto formado pelas vigas de piso, substrato e perfis de travamento deve trabalhar formando um diafragma horizontal rígido, tendo apenas movimento de corpo rígido no plano horizontal, ao possuir a capacidade de restringir os deslocamentos relativos na horizontal entre as vigas que formam a laje, preservando a forma do conjunto da edificação. Tal diafragma é parte do conjunto responsável pela resistência a cargas horizontais no sistema LSF (RODRIGUES e CALDAS, 2016 [4]).

Para criação de superfície plana horizontal, a solução com substrato de natureza seca é a mais comum no sistema, em função de menor peso próprio, emprego de uma solução a seco e maior velocidade de execução (SANTIAGO et al., 2012 [3]). As placas empregadas neste sistema são o OSB (*Oriented Strand Board*), compensado estrutural (*plywood*), placas cimentícias ou placas compósitas, sendo as duas primeiras as mais usuais no Brasil (Figura 5).



Figura 5- Laje de LSF com substrato seco em placas OSB

As placas OSB, ou *plywood* utilizadas como substrato de lajes, possuem dimensão típica de 1200 x 2400 mm, espessura mínima de 18,3 mm, bordas transversais retas e bordas longitudinais com encaixe tipo macho-fêmea, fixadas diretamente sobre a estrutura, com emprego de parafusos, e posicionadas com a borda longitudinal perpendicular à direção dos montantes das vigas da laje (Figura 6).

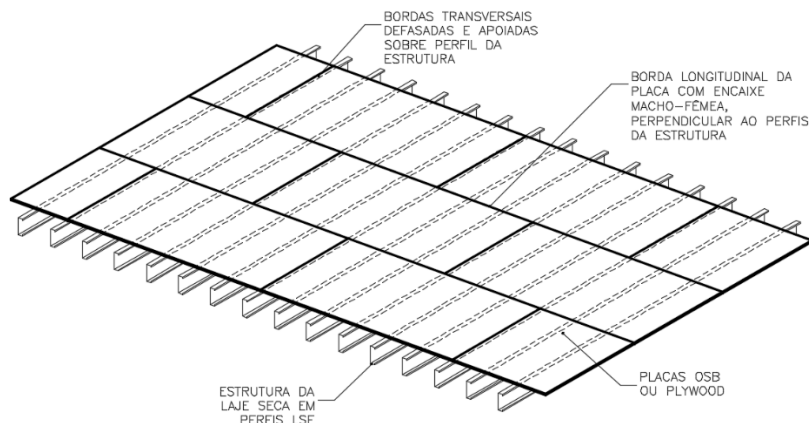


Figura 6- Esquema de paginação típica de placas OSB e plywood

As placas OSB, ou *plywood*, são instaladas com parafusos fabricados em aço baixo carbono com acabamento organometálico, bitola 4,2 mm, comprimento 32 mm, ponta broca, rosca inteira autoatarraxante e cabeça chata, estriada e com fenda Philips.

As placas são fixadas aos perfis da estrutura com parafusos instalados a, no mínimo, 10 mm das bordas e espaçamento típico máximo entre parafusos sobre os montantes de 150 mm no perímetro das placas e 300 mm nos apoios intermediários (Figura 7).

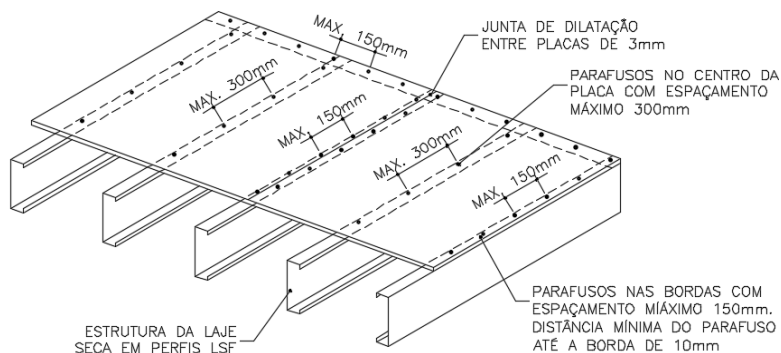


Figura 7 - Esquema de parafusamento típico de placas OSB e *plywood*

## 2.1. Estudos análogos

Em seus estudos publicados, ZHOU et al. (2014 [11], 2019 [12]) desenvolveram ensaios experimentais de flexão, empregando modelos de laje seca com perfis metálicos de seção Ue 305 mm, chapa 1,6 mm e espaçados em 400 mm associados a substrato em OSB de espessura 18 mm. No primeiro modelo (FL-1), foi adotada a configuração de parafusos recomendada pelos fabricantes do OSB, com parafusos espaçados em 150 mm para fixação do perímetro das placas e 300 mm em seu centro. Já no segundo

modelo, FL-2, foi adotado espaçamento de 300 mm entre parafusos usados no perímetro das placas e 600 mm nos parafusos do centro.

Os dados obtidos nos ensaios experimentais foram usados por ZHOU et al. (2014 [11], 2019 [12]) para calibração de modelo utilizando Método de Elementos Finitos (MEF), no *software* ANSYS, de laje composta por perfis formados a frio de *Light Steel Framing* e substrato em OSB (Figura 8). A partir desse modelo, foram conduzidos testes paramétricos variando a altura da seção do perfil, espessura da chapa metálica, espessura do substrato, tensão de escoamento do aço, densidade de parafusamento e espessura da chapa de substrato.

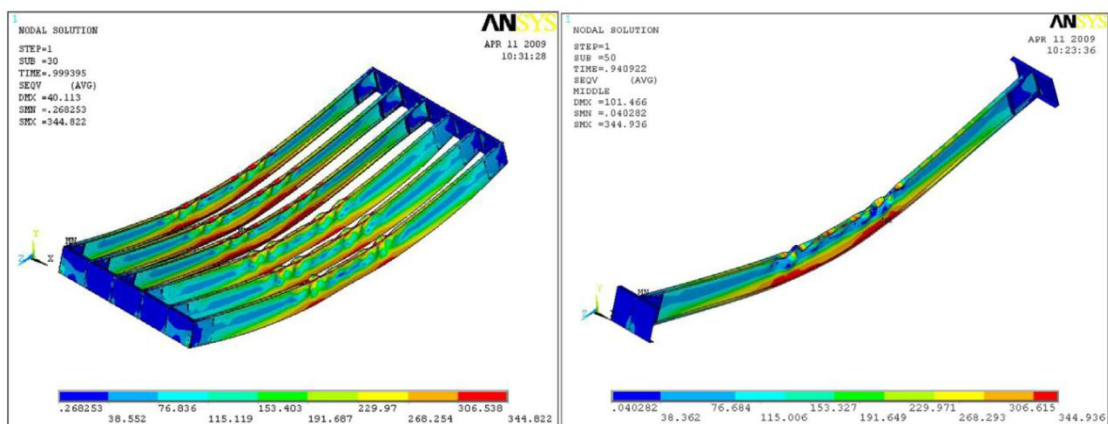


Figura 8 - Simulação de vigas mistas de laje LSF com uso de MEF (Fonte: ZHOU et al. 2019 [13])

ZHOU et al. (2014 [11], 2019 [12]) apresentam em seu estudo resultados que reforçam a posição de contribuição do substrato da laje seca para a resistência e rigidez da estrutura em LSF. Segundo os autores, essa contribuição não é função somente do incremento de inércia da seção composta frente a seção simples, mas também de redistribuição de esforços no conjunto.

Nos estudos de KYVELOU et al. (2015 [6], 2017a [7], 2017b [8], 2018 [9], 2019 [10]) foram desenvolvidos ensaios de flexão de modelos de vigas mistas com perfis formados a frio e placa em OSB. A partir dos resultados desses ensaios, os autores demonstram que há ganhos relevantes de resistência e rigidez da associação entre os materiais na composição de vigas mistas aço-madeira.

Os ensaios de flexão foram realizados com vigas compostas por 2 perfis Ue250mm×65mm×18mm instalados a 600 mm de distância, com as almas direcionadas uma à outra, sobrepostos por placa de OSB com 38 mm de espessura. O vão da montagem da viga mista foi de 5800 mm. Os perfis usados possuíam espessura de chapa de 1,51 mm (KYVELOU et al., 2015 [6]) e 3,00 mm (KYVELOU et al., 2017a [8]). Foram propostas, ainda, diversas soluções de fixação do substrato em OSB às vigas de aço (parafusos com espaçamentos diversos, adesivo nas juntas macho-fêmea do OSB e resina epóxi na interface aço/OSB), com objetivo de medir a variação de ganhos de rigidez e resistência.

Assim como ZHOU et al. (2014 [11], 2019 [12]), KYVELOU et al. (2018) [9] também conduziu estudos paramétricos com auxílio de MEF, para obter dados sobre a influência de variação da altura e espessura do perfil e do espaçamento entre parafusos. A Figura 9 exemplifica os resultados obtidos para vigas mistas neste estudo, comparando com uma viga sem substrato. Os resultados se referem a um perfil de altura 220 mm, com espessura de chapa variando de 1,0 mm (22010) a 3,0 mm (22030) e variação no espaçamento entre parafusos, indicando que perfis mais finos se beneficiam mais da ação composta.

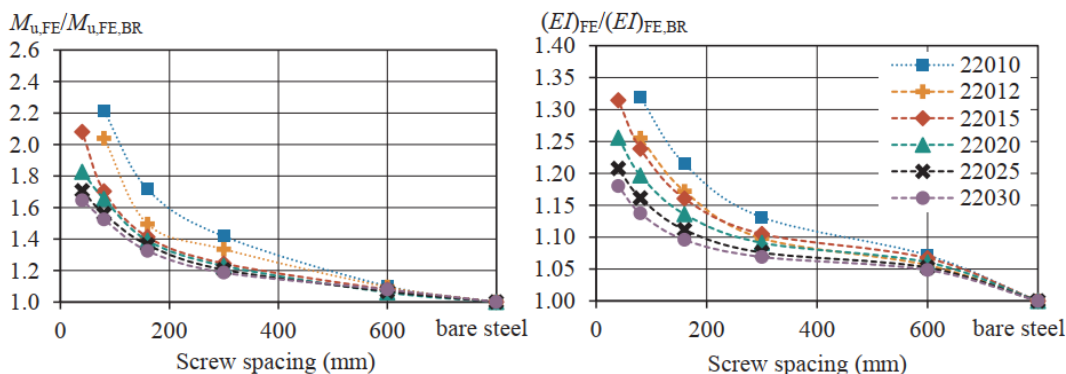


Figura 9 – Comparação de resistência e rigidez em lajes com perfis de espessuras diversas, com e sem substrato com uso de MEF (Fonte: KYVELOU et al. 2018 [9])

LEITE (2020) [13] realizou ensaios de flexão com modelos de laje seca construídos com perfis metálicos de seção Ue 140mm e espessura de chapa de 0,95 mm e substrato em placa compósita com duas faces em material cimentícia (4 mm) e miolo em OSB (32 mm), totalizando 40 mm de espessura (placa LP Mezanino). Em seus ensaios, foram adotadas variações no parafusamento das placas de substrato, com espaçamentos de 75 mm, 150 mm e 300 mm, não tendo sido realizado um ensaio da estrutura sem substrato.

Os ensaios de LEITE (2020) [13] confirmaram a ação mista entre as vigas da estrutura da laje de LSF e o substrato em placa compósita (composta por 2 camadas de placa cimentícia com miolo em OSB). Os resultados dos ensaios demonstraram que é possível obter um incremento na capacidade resistente e na rigidez do piso através do comportamento misto obtido pela interação entre a placa e o aço interligados por parafusos. A intensidade desse comportamento misto variou dependendo do espaçamento entre conectores. Como esperado, menores espaçamentos entre os parafusos conduziram a uma maior resistência e rigidez no sistema de piso.

A Figura 10 apresenta as flechas obtidas para os modelos com diferentes configurações de parafusamento, comparadas ao perfil isolado teórico (não ensaiado).

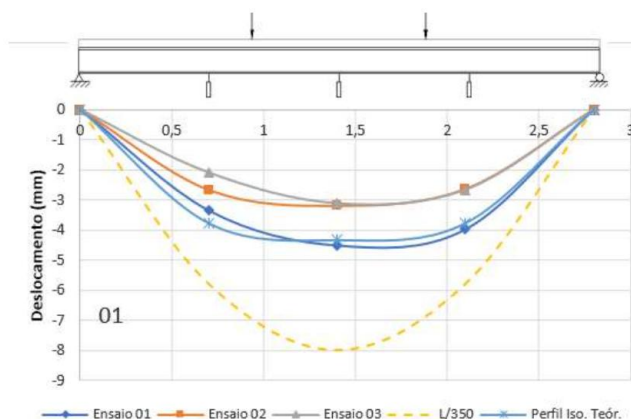


Figura 10 – Flechas obtidas em ensaios com diferentes configurações de parafusamento (Fonte: LEITE (2020) [13])

Os estudos citados apresentam conclusões comuns sobre os fatores que influenciam no maior ou menor ganho de resistência e rigidez das vigas mistas constituídas por perfis formados a frio de *Light Steel Framing* e substrato em placas delgadas:

- Espessura do aço: montagens com perfis de chapas mais finas se beneficiam mais da ação composta presente nas vigas, o que se deve à maior relação entre área de substrato e à área de aço na seção mista;
- Espaçamento entre perfis: possui relação inversamente proporcional ao ganho de ação composta, ou seja, com aumento do espaçamento entre perfis, há diminuição no ganho de resistência e rigidez em função da solução mista;
- Espessura do substrato: a variação na espessura do substrato influencia no ganho de ação composta de maneira diretamente proporcional;
- Tensão de escoamento do aço: o incremento de resistência e rigidez na montagem, em função da contribuição do substrato, é menor em montagens com perfis com material mais resistente (maior  $f_y$ );
- Altura da seção do perfil: perfis com maior rigidez (maior inércia, em função da maior altura da seção) apresentam menor incremento de resistência e rigidez na montagem, em função da contribuição do substrato;
- Espaçamento entre parafusos: os espaçamentos usados na fixação das placas de substrato possuem grande influência no ganho de resistência e rigidez da montagem, sendo a variação deste ganho inversamente proporcional à variação no espaçamento entre os parafusos.

## 2.2. Ensaios propostos

O presente estudo propõe a avaliação da contribuição do substrato em placas de compensado estrutural (*plywood*) no ganho de resistência e rigidez da laje seca do sistema LSF, de forma análoga às placas em OSB e compósitas empregadas nos estudos supracitados. Para tal, foram realizados ensaios de flexão em modelos de lajes no Laboratório de Análises de Engenharia de Estruturas (LAEs) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

A montagem proposta para a estrutura das lajes ensaiadas seguiu práticas usuais do sistema construtivo, baseadas nas indicações de SANTIAGO et al. 2012 [3] e RODRIGUES e CALDAS 2016 [4], bem como da ABNT NBR 16970-2:2022 [14].

As vigas da laje foram compostas por perfis Ue simples, com seção 200 mm, espessura de chapa de 0,95 mm e tensão de escoamento ( $f_y$ ) de 230 Mpa (Aço ZAR230 Z275). A opção se deveu a esta ser a seção mais comumente empregada nas construções de lajes secas em LSF e disponível no fornecedor que colaborou com a doação do material para os modelos. A orientação das peças, ou seja, a posição da alma, foi a mesma em todos os modelos e todos os perfis que os compunham. O espaçamento empregado foi de 400 mm entre perfis e foi medido sempre entre os eixos longitudinais dos perfis Ue de viga. A Figura 11. representa os detalhes de montagem da estrutura dos modelos empregados nos ensaios realizados.

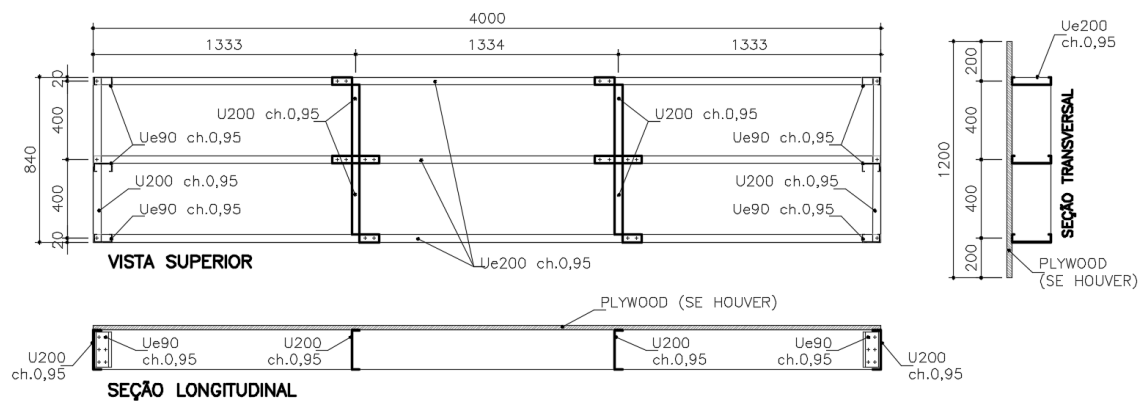


Figura 11 - Detalhes de montagem da estrutura dos modelos

As sanefas da laje foram executadas com perfis U e neles foram encaixadas as seções de extremidade dos perfis Ue das vigas de laje. Nas duas extremidades dos perfis Ue das vigas de laje, no encontro com as sanefas, foram empregados enrijecedores de alma, compostos por perfis Ue com seção 90x40x12 mm e espessura de 0,95 mm, instalados na vertical (Figura 12). O enrijecedor de alma tem por objetivo evitar o enrugamento da alma (*web crippling*) do perfil da viga nestes locais, que são os pontos de apoio da laje na montagem do ensaio.

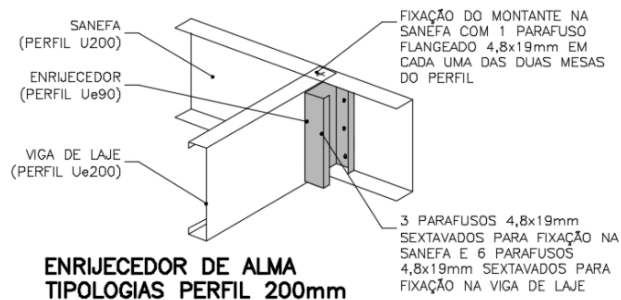


Figura 12 - Detalhes de instalação de enrijecedores de alma no encontro de vigas de piso com sanefa

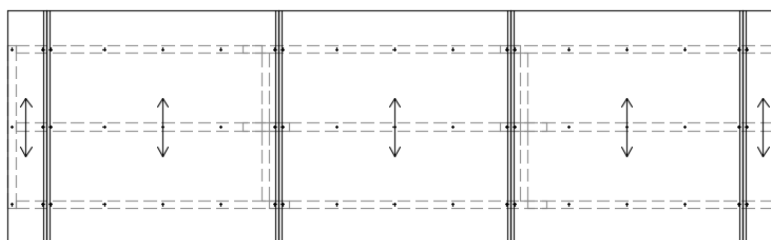
O sistema de aplicação de cargas utilizado no ensaio foi composto por duas cargas distribuídas em linhas transversais sobre a laje. ZHOU et al. (2014 [11], 2019 [12]) descrevem que a flambagem local na viga de piso (enrugamento da alma), abaixo dos pontos de aplicação de cargas foi um dos modos de falha do modelo por eles ensaiado, o que não reflete a situação real da laje em uma edificação com carga distribuída. Assim, para reduzir o risco de ocorrência de tal modo de falha (que não é o foco do presente estudo), foram incluídos enrijecedores de alma, também compostos por perfis Ue com seção 90x40x12 mm e espessura de 0,95 mm instalados na vertical (Figura 12), exatamente abaixo dos pontos de aplicação de cargas.

Também foram instalados na estrutura da laje bloqueadores compostos por perfis U (Figura 4), com o objetivo de reduzir, ou mesmo eliminar, o efeito da flambagem lateral com torção das vigas de piso. Como o modelo dos ensaios possuía apenas 3 perfis, foram instalados bloqueadores em perfis U nos dois espaços de módulo de 400 mm existentes, equivalentes às duas extremidades laterais dos painéis.

Uma vez que o presente estudo tem como objetivo obter dados sobre a contribuição do substrato de *plywood* na resistência e na rigidez da laje, fez-se importante a realização de ensaios em modelos com e sem a presença de substrato, gerando dados comparativos importantes para o estudo da solução, e entre esta e outras soluções já pesquisadas. O modelo sem substrato foi nomeado de L-1.

O substrato utilizado foi o compensado estrutural (*plywood*), fabricado pela empresa FormaComp Ltda., com especificações recomendadas para uso em lajes secas (espessura de 18 mm, bordas longitudinais com encaixe macho-fêmea e bordas transversais retas). Os modelos com substrato em *plywood*, nomeados de L-2, tiveram esta placa instalada em sua face superior, com a direção longitudinal das placas perpendicular aos perfis da laje, conforme práticas de montagem e parafusamento recomendadas para o material. Na confecção dos modelos, optou-se por instalar as placas ultrapassando em 200 mm o último montante de cada conjunto de modelo de estrutura (Figura 13).

No presente estudo, optou-se pelo uso da fixação tipicamente empregada no mercado e especificada pelos fabricantes de placas de substrato, com parafusos espaçados em 150 mm, no perímetro das placas, e 300 mm, no seu centro (conforme anteriormente apresentado).



L-2

Figura 13 - Detalhe de paginação de substrato plywood na tipologia L-2.

O substrato em compensado estrutural exerce a função de travamento da mesa superior dos perfis – consistindo, assim, um diafragma rígido horizontal, o que reduz o risco de flambagem lateral com torção das vigas de laje. Nos modelos da tipologia em que a estrutura não recebeu substrato (L-1), havia maior risco de flambagem lateral com torção do que naqueles com substrato, comprometendo os dados comparativos a serem obtidos. Assim, foi montada estrutura auxiliar de travamento da mesa superior das vigas de piso, composta por tiras de *plywood* com largura de 30 mm, instaladas transversalmente à estrutura da laje, a cada 300 mm e fixadas a todas as vigas do modelo com 1 parafuso em cada sobreposição de perfis, conforme Figura 14. Desta maneira, pretendeu-se simular o travamento lateral que ocorreria caso existisse o substrato sobre os perfis de viga da laje seca, sem que esta estrutura auxiliar contribuísse com a resistência da montagem.

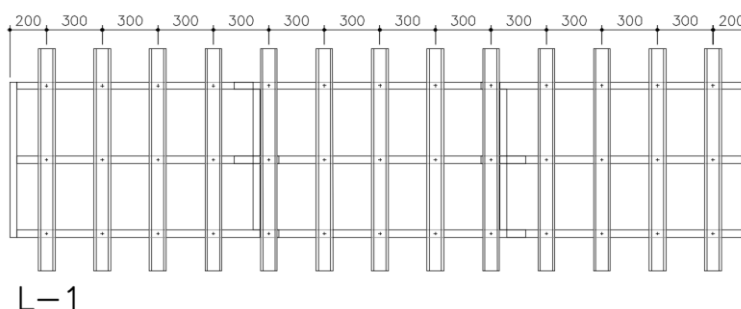


Figura 14 - Vista superior do travamento com perfis para modelo L-1 (sem substrato)

Os modelos de laje foram submetidos a forças verticais aplicadas transversalmente em duas linhas perpendiculares ao vão, de forma a gerar uma região de momento constante no centro do vão. Nas extremidades dos modelos, foram utilizados aparelhos especiais de apoio com objetivo de garantir a condição de viga bi-rotulada (aparelho rotulado fixo em um apoio e rotulado móvel no outro, mantendo a estabilidade do modelo e evitando seu deslocamento) (Figura 15). Na análise dos ensaios, o peso próprio das peças do sistema de aplicação das cargas foi somado à força aplicada pelo atuador hidráulico.

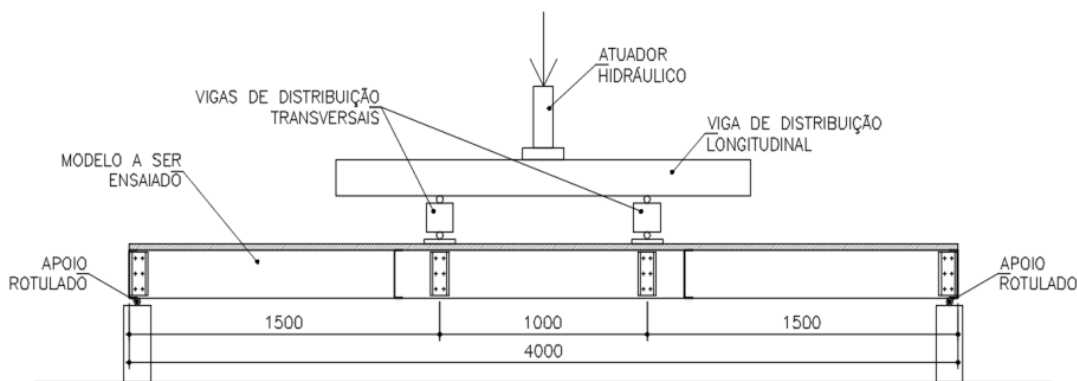


Figura 15 – Esquema da montagem proposta para os ensaios deste estudo

O comportamento das vigas mistas foi avaliado por meio da instalação de transdutores de deslocamentos (DT) e extensômetros elétricos de resistência (EER), para o aço e madeira, em cada modelo ensaiado.

Para medição dos deslocamentos da estrutura e do substrato, foram utilizados 7 transdutores de deslocamento (DT) com capacidade de medição de 100 mm, dispostos em pontos relevantes da estrutura, conforme Figura 16. Tais DTs tiveram como objetivo medir os deslocamentos verticais do modelo DT.1 a DT.5) e verificar o deslizamento relativo entre a estrutura de aço e as placas de substrato, durante o ensaio (DT.6 e DT.7).

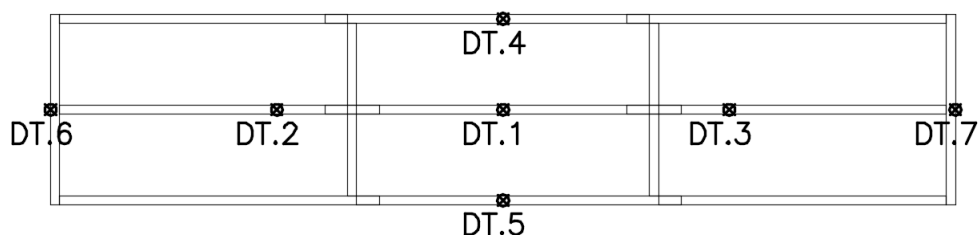


Figura 16 - Distribuição de transdutores de deslocamento (DT) durante ensaio de flexão

Para obtenção de dados relativos às tensões atuantes na laje mista, foram utilizados 13 extensômetros elétricos de resistência (EER) uniaxiais, com objetivo de medir as deformações longitudinais nos perfis e no substrato em *plywood*.

Foram instalados 5 EER no perfil metálico central da estrutura, no meio do vão da laje. Por meio deles, foi possível monitorar as tensões existentes no perfil e verificar a posição da Linha Neutra Elástica (LNE) do subsistema misto, ao longo de todo o ensaio. Também foram instalados 8 EER na placa de *plywood*, nas duas faces, próximo ao centro do vão da laje, para acompanhar as tensões atuantes no substrato, durante o ensaio. A Figura 17 apresenta o esquema de instalação dos EER no ensaio.

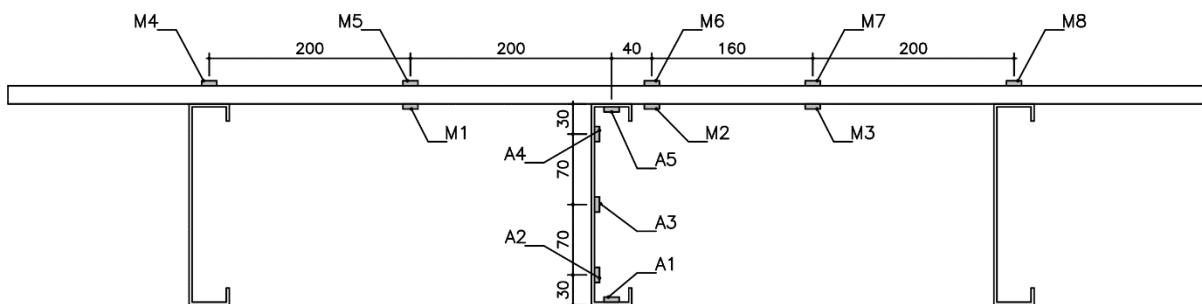


Figura 17 - Esquema de instalação de EER nos perfis e placa de substrato

A aplicação de carga no modelo foi realizada com atuador hidráulico com capacidade de 50 tf, montado em pórtico de carga com capacidade para 100 tf. Para os ensaios, foram estimadas cargas da ordem de 2 tf. Em função da diferença entre as cargas estimadas para o ensaio e a capacidade do atuador hidráulico, foi agregado um anel dinamométrico para aferição das cargas aplicadas. Foi utilizado sistema de aquisição

de dados, fabricado pela Lynx Eletrônica, com 36 canais, para obter os dados dos extensômetros, e sistema HBM Spider 8, para os dados advindos dos DTs e atuador hidráulico. A solicitação foi imposta ao modelo de forma monotônica, em etapas de carga com valores correspondentes a 1 unidade do anel dinamométrico empregado (94,5 kgf).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo realizado e apresentado neste artigo confirmou a hipótese de que o substrato em *plywood* colabora com ganhos de resistência e rigidez das vigas mistas que compõem o sistema de lajes do *Light Steel Framing*, assim como nos estudos analisados que trabalharam com outras placas de substrato.

#### 3.1. Comportamento dos modelos nos ensaios

Os primeiros ensaios realizados foram dos corpos de prova (CP), com montagem da estrutura de laje composta apenas pelos perfis metálicos, de modo a gerar dados comparativos do acréscimo de resistência e rigidez do efeito misto das vigas com substrato (nomeados L-1 neste trabalho). As vigas desses corpos de prova foram travadas na mesa superior por régulas de madeira transversais (fixadas com 1 parafuso em cada mesa de perfil), simulando o travamento que ocorreria caso existisse um substrato em placas nessa laje, de modo a melhorar a fidelidade dos resultados comparativos (Figura 18). Os dois corpos de prova ensaiados do modelo de laje L-1 foram levados até o limite em que eram capazes de manter o carregamento aplicado por, pelo menos, 3 minutos.



Figura 18 – Ensaio do CP-A, laje L-1

Durante o ensaio, a flambagem distorcional das seções das vigas foi o modo de falha observado, primeiramente, ocorrendo na região de momento constante (entre os pontos de aplicação de carga). O comprimento das semiondas formadas nos perfis das vigas corresponderam à distância entre os travamentos transversais com régulas de madeira, o que demonstra a contribuição destas para evitar o deslocamento lateral da mesa superior das vigas (flambagem lateral com torção), que seria um modo de falha não adequado para perfis com substrato.

As imagens (Figura 19 e Figura 20) ilustram a flambagem distorcional ocorrida, tanto no CP-A (primeiro a ser ensaiado) quanto no CP-B.

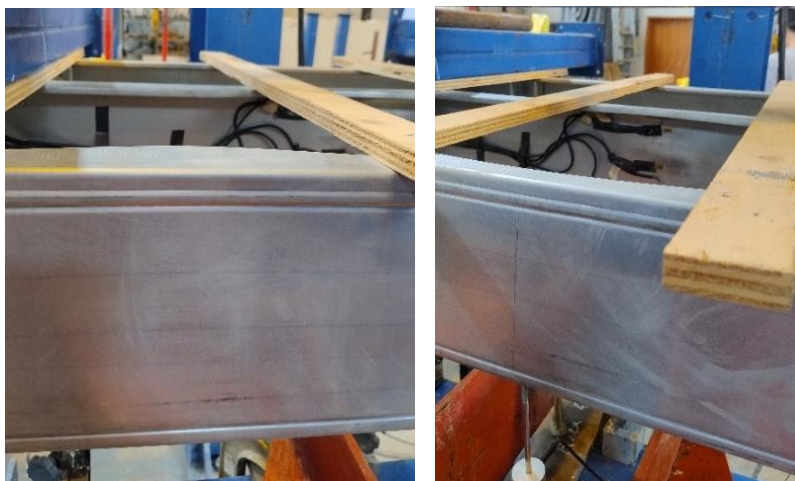


Figura 19 – Detalhes de flambagem distorcional nos perfis do corpo de prova A, laje L-1



Figura 20 – visão geral da flambagem distorcional do CP-B, laje L-1

A última carga que os 2 corpos de prova da laje L-1 conseguiram suportar por 3 minutos, sem ocorrência de falha, foi de cerca de 1.100 kgf. Acima deste carregamento, houve falha por flambagem local dos perfis, iniciada pela mesa superior (comprimida), na região de momento constante, conforme Figura 21.

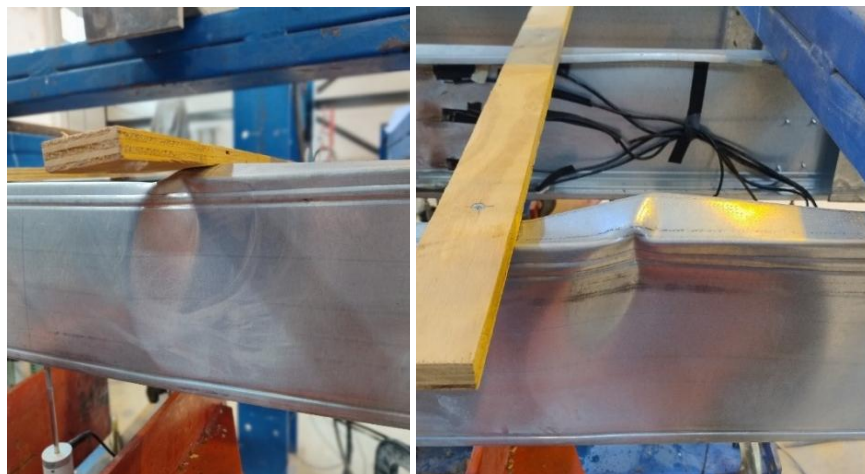


Figura 21 - Pontos de falha dos corpos de prova A e B da laje L-1

As tensões registradas nos perfis, antes da falha, tiveram pico de 166 MPa tanto na mesa comprimida quanto na tracionada, demonstrando a ocorrência da flambagem ainda na fase elástica do material (considerando a tensão de escoamento de 230 MPa, nominal do material empregado). A Tabela 1 apresenta os dados de deformação do CP-B da L-1, medidos pelos 5 extensômetros fixados no perfil metálico e a tensão correspondente, considerando o módulo de elasticidade (E) do aço de 200.000 MPa.

Tabela 1 - Deformações e tensões medidas no CP-B do modelo L-1

CARGA APROX. (kgf)	EER A1		EER A2		EER A3		EER A4		EER A5	
	deformação (μm)	tensão (MPa)	deformação (μm)	tensão (MPa)	deformação (μm)	tensão (MPa)	deformação (μm)	tensão (MPa)	deformação (μm)	tensão (MPa)
60,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
154,50	120,00	24,00	87,10	17,42	-1,40	-0,28	-81,10	-16,22	-106,10	-21,22
249,00	197,70	39,54	143,30	28,66	5,80	1,16	-124,00	-24,80	-166,00	-33,20
343,50	264,30	52,86	195,50	39,10	11,60	2,32	-153,90	-30,78	-217,90	-43,58
438,00	351,00	70,20	253,80	50,76	6,50	1,30	-216,90	-43,38	-291,70	-58,34
532,50	408,90	81,78	293,70	58,74	9,50	1,90	-249,60	-49,92	-336,50	-67,30
627,00	477,00	95,40	340,60	68,12	3,50	0,70	-302,40	-60,48	-401,70	-80,34
721,50	537,30	107,46	382,70	76,54	2,80	0,56	-343,70	-68,74	-451,40	-90,28
816,00	620,10	124,02	438,60	87,72	-2,30	-0,46	-400,00	-80,00	-516,10	-103,22
910,50	697,90	139,58	490,40	98,08	-24,10	-4,82	-489,00	-97,80	-595,70	-119,14
1005,00	702,80	140,56	534,30	106,86	-41,50	-8,30	-551,50	-110,30	-663,00	-132,60
1099,50	834,70	166,94	586,30	117,26	30,30	6,06	-527,20	-105,44	-832,60	-166,52

Os dados registrados dos deslocamentos verticais (flechas) no centro do vão da laje do CP-B modelo L-1, com o acréscimo de cargas aplicadas, estão apresentados na Tabela 2. O valor apresentado é a média entre os 3 DTs localizados nesta região da estrutura.

Tabela 2 - Deslocamentos verticais médios medidos no centro do vão do CP-B do modelo L-1

CARGA APROX. (kgf)	Deslocamento (mm)
60,00	0,00
154,50	1,45
249,00	3,99
343,50	5,14
438,00	6,79
532,50	7,83
627,00	9,17
721,50	10,34
816,00	11,89
910,50	13,57
1005,00	14,95
1099,50	17,42

Os ensaios dos 2 corpos de prova da montagem de laje L-2, com substrato em *plywood*, foram realizados seguindo a mesma metodologia dos ensaios da laje L-1. As diferenças ocorreram na medição do comportamento da laje, em que se agregou extensômetros (EER) nas faces inferior e superior da placa de *plywood* e transdutores de deslocamento (DTs) para medição do deslocamento relativo entre substrato e estrutura de aço. Assim como ocorreu na laje L-1, os dois corpos de prova ensaiados do modelo de laje L-1 foram levados até o limite em que eram capazes de manter o carregamento aplicado por, pelo menos, 3 minutos.



Figura 22 – Ensaio do CP-A, laje L-2

A flambagem distorcional das seções das vigas foi o primeiro fenômeno novamente observado, ocorrendo, também, na região de momento constante. O início da percepção dessa flambagem ocorreu com carga aproximada de 910 kgf, momento similar ao que ocorreu na laje L-1. A presença das placas de substrato dificultou a visualização dessa ocorrência nas mesas dos perfis, porém, com auxílio de uma régua, como mostrado na Figura 23.



Figura 23 – Flambagem distorcional no perfil do CP-B da laje L-2

A última carga que os 2 corpos de prova da laje L-2 conseguiram suportar por 3 minutos, sem ocorrência de falha, foi de 1761 kgf. Acima deste carregamento, houve, em ambos os corpos de prova, falha por flambagem local dos perfis das vigas da laje. Nos dois casos ainda, tal falha ocorreu próximo dos pontos de aplicação das cargas, conforme apresentado na Figura 24.



Figura 24 - Flambagem local nos perfis do CP-A e CP-B da laje L-2

Os perfis dos corpos de prova da laje L-2 registraram, antes da falha, pico de tensão de 236 MPa de tração na mesa inferior e 226 MPa na mesa superior (comprimida). As tensões, conforme esperado, foram maiores na mesa tracionada do que na mesa comprimida, evidenciando a contribuição do substrato para absorver parte dos esforços de compressão, o que caracteriza a viga mista. A tensão máxima de tração registrada antes da falha chegou a extrapolar o regime elástico do aço, o que não ocorreu na tensão de compressão (considerando a tensão de escoamento de 230 MPa, nominal do material empregado). A Tabela 3 apresenta os dados de deformação do CP-B da L-2 medidos pelos 5 extensômetros fixados no perfil metálico e a tensão correspondente, considerando o módulo de elasticidade (E) do aço de 200.000 MPa.

Tabela 3 - Deformações e tensões medidas no perfil de aço do CP-B do modelo L-2

CARGA APROX. (kgf)	EER A1		EER A2		EER A3		EER A4		EER A5	
	deformação (μm)	tensão (MPa)	deformação (μm)	tensão (MPa)	deformação (μm)	tensão (MPa)	deformação (μm)	tensão (MPa)	deformação (μm)	tensão (MPa)
60,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
154,50	57,00	11,40	38,20	7,64	-3,40	-0,68	-44,30	-8,86	-62,80	-12,56
249,00	155,40	31,08	108,10	21,62	8,70	1,74	-85,90	-17,18	-133,30	-26,66
343,50	210,10	42,02	147,70	29,54	13,60	2,72	-113,50	-22,70	-179,80	-35,96
532,50	269,50	53,90	189,10	37,82	18,50	3,70	-141,00	-28,20	-224,60	-44,92
627,00	330,70	66,14	231,90	46,38	23,00	4,60	-174,80	-34,96	-276,10	-55,22
721,50	455,70	91,14	320,40	64,08	32,40	6,48	-240,30	-48,06	-382,40	-76,48
910,50	577,90	115,58	404,10	80,82	36,40	7,28	-308,80	-61,76	-492,50	-98,50
1099,50	718,10	143,62	502,30	100,46	48,30	9,66	-390,70	-78,14	-620,40	-124,08
1194,00	784,20	156,84	548,60	109,72	48,50	9,70	-423,00	-84,60	-672,60	-134,52
1288,50	845,40	169,08	589,70	117,94	49,20	9,84	-462,40	-92,48	-732,80	-146,56
1383,00	908,30	181,66	634,70	126,94	51,00	10,20	-500,00	-100,00	-793,60	-158,72
1477,50	971,10	194,22	681,40	136,28	57,20	11,44	-538,40	-107,68	-854,00	-170,80
1572,00	1036,50	207,30	726,60	145,32	57,00	11,40	-586,30	-117,26	-928,40	-185,68
1619,25	1076,70	215,34	754,90	150,98	56,50	11,30	-618,10	-123,62	-978,60	-195,72
1666,50	1112,00	222,40	778,90	155,78	56,50	11,30	-645,20	-129,04	-1024,30	-204,86
1713,75	1142,80	228,56	799,40	159,88	53,90	10,78	-673,80	-134,76	-1071,70	-214,34
1761,00	1181,40	236,28	826,30	165,26	50,70	10,14	-707,20	-141,44	-1131,70	-226,34

Percebeu-se uma deformação muito pequena nas placas de substrato *plywood* dos corpos de prova da laje L-2. Porém, essa deformação e a tensão por ela gerada, foi crescente conforme a carga era incrementada no ensaio. Por se tratar de um material muito heterogêneo, a madeira apresentou valores nominais de deformação distintos entre cada um dos extensômetros localizados na face inferior da placa (M1, M2 e M3) e entre os extensômetros instalados na face superior (M4, M5, M6, M7 e M8). Assim, optou-se por considerar o valor médio medido por estes sensores para a realização das análises deste estudo.

A Tabela 4 apresenta os dados de deformação encontrados no CP-B da L-2, considerando a média entre os valores dos EER M1, M2 e M3 e entre os EER M4, M5, M6, M7 e M8, todos instalados na placa de substrato. Apresenta-se, também, a tensão correspondente a cada deformação, considerando o módulo de elasticidade (E) do *plywood* de 6312 MPa, obtido por REZENDE, 2019 [15].

Tabela 4 - Deformações e tensões medidas no substrato em *plywood* do CP-B do modelo L-2

CARGA APROX. (kgf)	EER M1/M2/M3 (média)		EER M4/M5/M6/M7/M8 (média)	
	deformação (µm)	tensão (MPa)	deformação (µm)	tensão (MPa)
60,00	0,00	0,00	0,00	0,00
154,50	-8,43	-0,05	-1,28	-0,01
249,00	-40,93	-0,26	-10,80	-0,07
343,50	-60,37	-0,38	-21,78	-0,14
532,50	-76,87	-0,49	-33,08	-0,21
627,00	-90,40	-0,57	-42,44	-0,27
721,50	-110,30	-0,70	-55,40	-0,35
910,50	-127,07	-0,80	-68,30	-0,43
1099,50	-140,57	-0,89	-84,10	-0,53
1194,00	-144,47	-0,91	-89,70	-0,57
1288,50	-154,00	-0,97	-98,58	-0,62
1383,00	-161,33	-1,02	-105,14	-0,66
1477,50	-161,90	-1,02	-105,06	-0,66
1572,00	-173,30	-1,09	-106,70	-0,67
1619,25	-170,73	-1,08	-101,62	-0,64
1666,50	-177,77	-1,12	-104,36	-0,66
1713,75	-183,07	-1,16	-103,78	-0,66
1761,00	-192,30	-1,21	-109,26	-0,69

Os dados registrados dos deslocamentos verticais (flechas) no centro do vão da laje do CP-B modelo L-2, com o acréscimo de cargas aplicadas, estão apresentados na Tabela 5. O valor apresentado é a média entre os valores obtidos pelos 3 DTs localizados nesta região da estrutura.

Tabela 5 - Deslocamentos verticais médios medidos no centro do vão do CP-B do modelo L-2

CARGA APROX. (kgf)	Deslocamento (mm)
60,00	0,00
154,50	1,40
249,00	3,23
343,50	4,25
532,50	5,26
627,00	6,38
721,50	8,66
910,50	10,94
1099,50	13,64
1194,00	14,87
1288,50	16,12
1383,00	17,39
1477,50	18,67
1572,00	20,07
1619,25	20,94
1666,50	21,72
1713,75	22,48
1761,00	23,44

### 3.2. Avaliação comparativa dos modelos L-1 e L-2

Os modelos sem substrato (L-1) e com substrato em *plywood* (L-2) suportaram cargas últimas (carga sustentada pelo CP por, no mínimo, 3 minutos, sem ocorrência de falha) com valores, respectivamente, de 1099,5 kgf e 1761 kgf. Houve, portanto, um acréscimo de carga suportada pela montagem da laje de 60%.

Percebe-se, também, que os modelos com perfis isolados (L-1) apresentaram falha da estrutura por flambagem local nas mesas superiores dos perfis, com tensão máxima no aço da ordem de 166 MPa, portanto menor que sua tensão de escoamento teórica de 230 MPa. Já nos modelos com substrato (L-2), percebe-se que as tensões máximas registradas foram próximas da tensão de escoamento do material, sendo de 236 MPa na mesa inferior do perfil (tração) e 226 MPa na mesa superior (compressão), ambas registradas logo antes da falha com flambagem local nas mesas superiores dos perfis metálicos. Tais dados indicam que a presença do substrato contribuiu para que a estrutura suportasse uma tensão cerca de 36% maior antes da ocorrência da flambagem local dos perfis, maximizando a utilização do potencial do aço estrutural.

A Figura 25 consolida os dados de deformações ao longo da altura da seção do perfil metálico no modelo L-1 e do perfil associado ao substrato no modelo L-2 em diagramas baseados nos dados obtidos com

cargas de 721,50 kgf e 1099,5 kgf (última carga suportada pelo modelo L-1). Esses diagramas demonstram a redução das deformações na montagem com substrato (L-2) comparativamente à montagem sem substrato (L-1). Tal redução caracteriza a efetiva existência da ação mista na associação dos perfis metálicos com o substrato em *plywood* da laje seca ensaiada no modelo L-2.

Pode-se perceber que a redução das deformações e, conseqüentemente, das tensões presentes na estrutura metálica das lajes secas com substrato comparativamente ao perfil isolado é da ordem de 15%, para a mesma situação de carregamento.

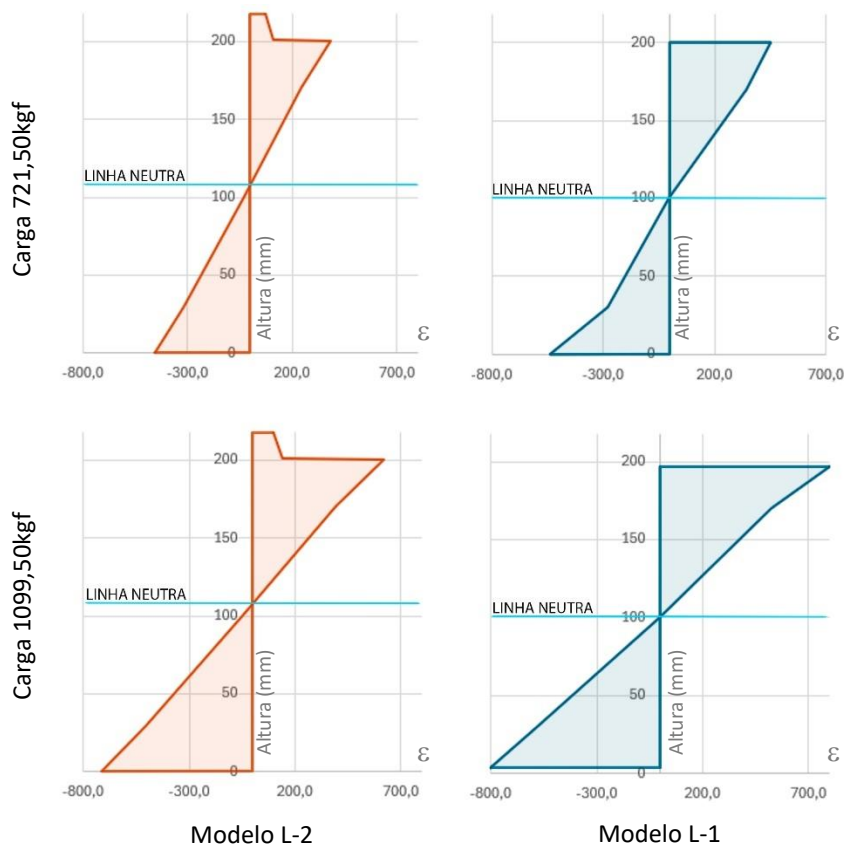


Figura 25 - Diagramas de deformações ao longo da altura do perfil metálico e substrato (quando presente) nos modelos L-1 (perfil isolado) e L-2 (perfil em viga mista)

Quando as grandezas dos deslocamentos verticais são analisadas, percebe-se que o modelo de laje seca para *Light Steel Framing* com substrato de *plywood* apresentam valores de flechas significativamente menores, com redução da ordem de 20%, para cada um dos carregamentos registrados.

Nas Figura 26 e 27, é possível comparar os deslocamentos verticais no centro do vão da laje composta apenas por perfis metálicos (L-1) aos deslocamentos da laje com substrato em *plywood* (L-2), para a carga aplicada de 721,5 kgf e para a carga de 1099,5 kgf.

Nos dois casos, percebe-se uma redução expressiva da flecha apresentada pelo conjunto da laje quando se agrega ao sistema a contribuição do substrato, situação em que há comportamento de vigas mistas nos perfis que compõem a laje. O comportamento misto entre perfil metálico e substrato de madeira permite entender que há um aumento da inércia da seção, equivalente desta associação, frente a seção do perfil metálico isolado, contribuindo de maneira relevante para um menor deslocamento vertical da laje.

Com a carga de 721,5 kgf, o perfil isolado apresentou flecha de 10,34 mm, enquanto, na situação mista, o deslocamento vertical medido foi de 8,66 mm, o que equivale a uma redução de 16,2% (Figura 26). Já com o carregamento de 1099,5 kgf, a laje composta por perfis de isolamento se deslocou verticalmente um total de 17,42 mm, enquanto a montagem com substrato se deslocou 13,64 mm (Figura 27), representando uma flecha 21,7% menor.

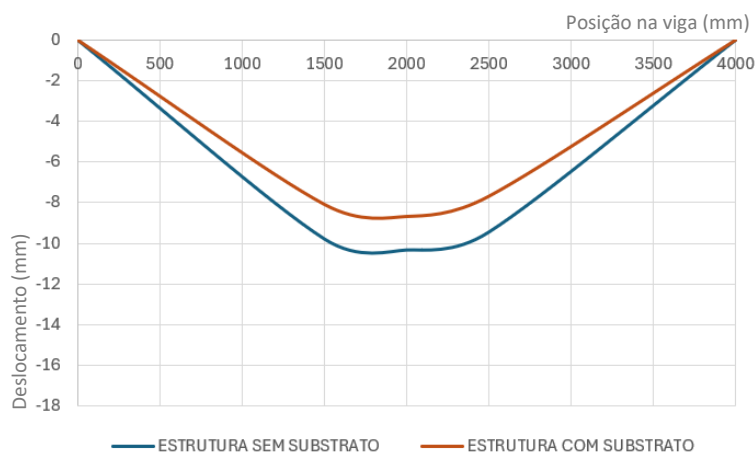


Figura 26 - Comparativo de deslocamentos verticais entre os modelos L-1 (perfil isolado) e L-2 (perfil em viga mista) para carga de 721,5 kgf

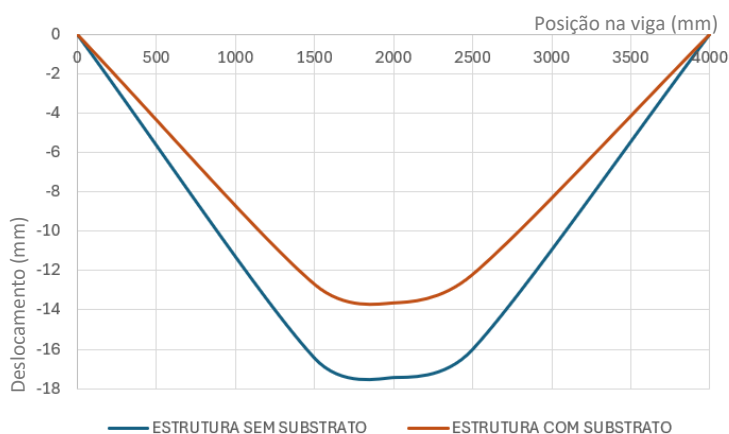


Figura 27 - Comparativo de deslocamentos verticais entre os modelos L-1 (perfil isolado) e L-2 (perfil em viga mista) para carga de 1099,5 kgf

#### 4 CONCLUSÃO

O estudo apresentado neste artigo demonstra que é possível entender que as vigas, associadas ao substrato em compensado estrutural (*plywood*), compõem as lajes do sistema *Light Steel Framing* como vigas mistas análogas àquelas compostas por perfis metálicos associados a lajes em concreto armado.

Os ensaios realizados demonstraram um acréscimo de resistência de 60% comparando a carga última da laje composta por perfis metálicos isolados àquela em que há associação com placas de *plywood*. Também há redução da ordem de 20% nos deslocamentos verticais registrados, se comparados à estrutura com e sem placas de substrato, sendo que a redução percentual é maior nas cargas mais altas. Os resultados deste estudo estão alinhados com aqueles obtidos em estudos similares realizados com perfis de LSF e placas de substrato OSB e compósita.

Desta maneira, entende-se que é possível o desenvolvimento de equações que considerem a contribuição das placas de substrato nos ganhos de resistência e rigidez das lajes de LSF com substrato em *plywood*. Tal consideração pode resultar em estruturas metálicas leves mais econômicas e igualmente seguras, o que deve contribuir para a disseminação e viabilidade do emprego da solução em *Light Steel Framing* na construção civil.

#### Agradecimentos

Agradecimentos especiais às empresas OEC, Tokyo Perfis e Vital Obras, que doaram materiais ou serviços para montagem dos modelos para ensaios; à UFMG e à Fundação Cristiano Otoni, que patrocinaram a aquisição dos extensômetros para os ensaios; à equipe do LAEEs, pelo suporte na execução de toda a análise experimental e à equipe do Estúdio Nexus, cujo apoio imaterial foi fundamental para a viabilidade do estudo.

#### REFERÊNCIAS

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto. Rio de Janeiro, 2008.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.
- 3 SANTIAGO, A. K.; FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. Steel Framing: Arquitetura. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2012.
- 4 RODRIGUES, F. C.; CALDAS, R. B. Steel Framing: Engenharia. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2016.
- 5 KYVELOU P. Structural behavior of composite cold-formed steel systems. PhD thesis, London: Imperial College; 2017

6 KYVELOU, P.; GARDNER, L.; NETHERCOT, D. A. Composite action between cold-formed steel beams and wood-based floorboards. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, Vol.15, N.08, p.1540029–1540046, 2015.

7 KYVELOU, P.; GARDNER, L.; NETHERCOT, D. A. Testing and Analysis of Composite Cold-Formed Steel and Wood-Based Flooring Systems. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 143, Issue 11, 04017146-1, 2017a.

8 KYVELOU, P.; GARDNER, L.; NETHERCOT, D. A. Design of Composite Cold-Formed Steel Flooring Systems. *Structures*, Vol. 12, p.242-252, 2017b.

9 KYVELOU, P.; GARDNER, L.; NETHERCOT, D. A. Finite element modelling of composite cold-formed steel flooring systems. *Engineering Structures*, Vol. 158, p.28-42, 2018.

10 KYVELOU, P.; KYPRIANOU C.; GARDNER, L.; NETHERCOT, D. A. Challenges and solutions associated with the simulation and design of cold-formed steel structural systems. *Thin-Walled Structures*. Vol. 141, p-526-539, 2019.

11 ZHOU, X. H.; SHI, Y.; WANG, R. C.; LIU, Y. J. Study on the Flexural Capacity of Cold-Formed Steel Joists - OSB Composite floors. *International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*. 2014, acesso em 05/10/2022. Vol. 4. Disponível em: <<https://scholarsmine.mst.edu/isccss/22iccfss/session06/4>>.

12 ZHOU, Xuhong; SHI, Yu; XU, Lei; YAO, Xinmei; WANG, Weiyong. A simplified method to evaluate the flexural capacity of lightweight cold formed steel floor system with oriented strand board subfloor. *Thin-Walled Structures*, Elsevier, Vol.134, p40-51, 2019.

13 LEITE, G. C. V. M. Análise experimental de sistema de piso misto em estrutura de perfis de aço formados a frio e placas mistas OSB-cimentícias. Tese Mestrado. Rio de Janeiro: Programa de Projeto de Estruturas, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020.

14 ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16970-2: Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço formados a frio, com fechamentos em chapas delgadas. Parte 2: Projeto Estrutural. Rio de Janeiro, 2022.

15 REZENDE, J. C.; Estudo experimental da ligação de placas de compensado estrutural com perfis do sistema construtivo Light Steel Framing. Dissertação Mestrado. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.